

This Page Is Inserted by IFW Operations
and is not a part of the Official Record

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

**As rescanning documents *will not* correct images,
please do not report the images to the
Image Problem Mailbox.**

①9 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENTAMT

⑫ Offenlegungsschrift
⑩ DE 195 36 491 A 1

⑤1 Int. Cl.®:
F 04 B 17/00
F 04 B 35/04
F 04 B 3/00
F 04 B 25/00
F 04 B 17/03

②1 Aktenzeichen: 195 36 491.0
②2 Anmeldetag: 29. 9. 95
④3 Offenlegungstag: 3. 4. 97

DE 195 36 491 A 1

⑦1 Anmelder:
Siemens AG, 80333 München, DE

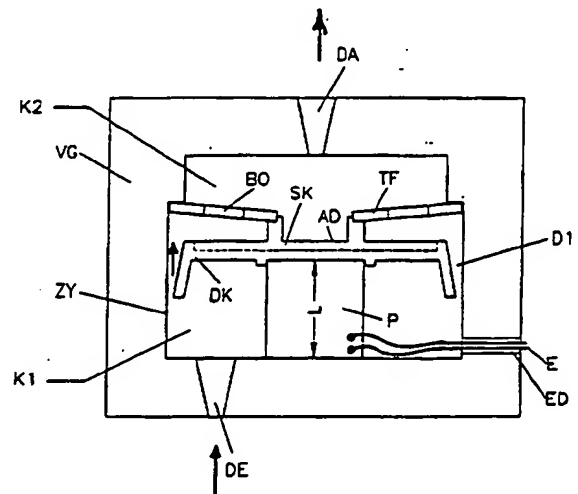
⑦2 Erfinder:
Kappel, Andreas, Dr., 81369 München, DE; Mock,
Randolf, Dr., 81739 München, DE; Meixner, Hans,
Prof., 85540 Haar, DE

⑥6 Entgegenhaltungen:
DE 44 08 522 C1
DE 41 32 930 A1
EP 01 03 538 A1
STEMME Göran, A valveless diffuser/nozzle-based
fluid pump, in: Sensors and Actuators A, 39 (1993),
159-167;

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤4 Vorrichtung zur Förderung gasförmiger oder flüssiger Medien

⑤7 Beim Einbau piezoelektrischer Aktoren in konventionelle Ventilpumpen lassen sich die Eigenschaften dieser kompakten Antriebe nur unzureichend nutzen. So liegt die zulässige Betätigungsfrequenz der Ventile üblicherweise deutlich unterhalb der maximalen Betätigungsfrequenz des Aktors, was die Arbeitsfrequenz der Pumpe und damit auch deren Förderleistung begrenzt.
Die in der Anmeldung beschriebenen ventillosen Kolbenpumpen für kleine Fördervolumina arbeiten auch bei hohen, im Kilohertzbereich liegenden Betriebsfrequenzen noch zuverlässig und nahezu verschleißfrei. Im einfachsten Fall besitzt die Pumpe einen von einem elektromechanischen Aktor (P) angetriebenen Förderkolben (DK), der die zylindrische Bohrung (ZY) des Pumpengehäuses (VG) in zwei Kammern (K1, K2) unterteilt. Der kragenförmige Rand des Förderkolbens (DK) bildet im Zusammenwirken mit der Gehäusewand hierbei einen sich in Richtung Pumpenauslaß (DA) erweiternden Ringspalt (D1). Zwei in die Kammern (K1, K2) mündende Gehäusebohrungen (DE, DA) dienen als Pumpeneinlaß bzw. Pumpenauslaß. Deren strömungsmechanische Eigenschaften sind derart auf den als Diffusor-/Düse-Element wirkenden Ringspalt (D1) abgestimmt, daß das System bei einer periodischen Betätigung des Aktors (P) eine Pumpwirkung entfaltet.
Ein- und mehrstufige Kolbenpumpen.



DE 195 36 491 A 1

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

BUNDESDRUCKEREI 02. 97 702 014/274

14/28

Einleitung

Pumpen werden in nahezu allen Bereichen der Technik, insbesondere in der hydraulischen Steuer- und Regelungstechnik, der Medizintechnik, der Automobiltechnik, der Verfahrens- und Prozeßtechnik und in zunehmendem Maße auch in der Mikrosystemtechnik zur Druckerzeugung und Förderung von Flüssigkeiten und Gasen eingesetzt. Entsprechend der ihnen jeweils zugewiesenen Funktion und Aufgabe, müssen die Pumpen unterschiedlichsten Anforderungen genügen. Unabhängig vom Einsatzgebiet sollen die Pumpen aber immer eine hohe Betriebszuverlässigkeit besitzen, effizient und wartungsfrei arbeiten und möglichst kompakt aufgebaut sein.

Die Leistungsfähigkeit der zur Förderung kleiner bis mittlerer Volumina eingesetzten Pumpen ließe sich durch Verwendung piezoelektrischer, elektrostriktiver oder magnetostriktiver Aktoren als Antrieb erheblich verbessern, da diese kompakt aufgebauten Aktoren eine hohe Energiedichte besitzen, elektrische Energie effektiv in mechanische Energie umwandeln und Arbeitsfrequenzen von bis zu mehreren Kilohertz ermöglichen. Beim Einbau der Aktoren in konventionelle Ventilpumpen kommen die Vorteile dieser Antriebe allerdings nicht zum tragen. So liegt die zulässige Betätigungsfrequenz der üblicherweise verwendeten Rückschlag- bzw. Blattventile deutlich unterhalb der maximalen Betätigungsfrequenz des Aktors, was die Arbeitsfrequenz der Pumpe und damit deren Förderleistung begrenzt. Probleme bereitet auch das die Förderleistung reduzierende Schluckvolumen der Ventile und deren Neigung vergleichsweise schnell zu verschmutzen.

Stand der Technik

In der Entwicklung befinden sich zur Zeit eine Vielzahl von Typen miniaturisierter Membranpumpen mit mikromechanisch hergestellten Ventilen und Pumpenkammern (s. beispielsweise [1 bis 3]). Als Antriebselemente dienen vorzugsweise piezoelektrische Aktoren, welche die jeweilige Pumpenkammer ab schließende Membran periodisch deformieren und dadurch das Kammervolumen zyklisch ändern.

Ventillosen Mikropumpen sind aus [4, 5] bekannt. Den Pumpeneinlaß und Pumpenauslaß bilden sogenannte Diffusor-/Düse-Elemente, die keine bewegten mechanischen Teile aufweisen und im einfachsten Fall aus einer konischen Bohrung bestehen.

Die in [6] beschriebene Mikropumpe besitzt eine von einem piezoelektrischen Aktor angetriebene Platte, die dem in einem Kanal oder Spalt strömenden Medium eine Oszillationsbewegung aufprägt. Da die stark strukturierte Oberfläche der Platte dem in Richtung Auslaß fließenden Medium den kleineren Strömungswiderstand bietet, wird Masse vorn Pumpeneinlaß zum Pumpenauslaß transportiert.

Ziele und Vorteile der Erfindung

Ziel der Erfindung ist die Schaffung einer kompakt aufgebauten, leistungsstarken und betriebssicheren ein- oder mehrstufigen Vorrichtung zur Förderung gasförmiger oder flüssiger Medien. Die Fördervorrichtung soll auch bei hohen, im Kilohertzbereich liegenden Betriebs-

frequenzen noch zuverlässig und nahezu verschleißfrei arbeiten. Eine Vorrichtung mit den in Patentanspruch 1 angegebenen Merkmalen besitzt diese Eigenschaften. Vorteilhafte Ausgestaltungen und Weiterbildungen der Vorrichtung sind Gegenstand der abhängigen Ansprüche.

Die Erfindung ermöglicht den Bau von Pumpen, deren Eigenschaften durch eine entsprechende Ausgestaltung und Dimensionierung ihrer Komponenten sowie der Art der elektrischen Ansteuerung in weiten Grenzen verändert und den jeweiligen Gegebenheiten angepaßt werden können. Da die druckerzeugenden bzw. medienfördernden Komponenten und das Diffusor/Düse-Element jeweils eine funktionale Einheit bilden, besitzen auch mehrstufige Pumpen einen sehr kompakten Aufbau. Sie weisen keine bewegten Dichtelemente auf und arbeiten deshalb nahezu verschleißfrei. Durch die Anordnung der Aktoren in den Pumpenkammern ist darüberhinaus für eine effiziente Abführung der elektrischen Verlustleistung gesorgt.

Zeichnungen

Die Erfindung wird im folgenden anhand der Zeichnungen erläutert, wobei die Fig. 1 bis 3 Ausführungsbeispiele einstufiger Kolbenpumpen und die Fig. 4 bis 11 Ausführungsbeispiele mehrstufiger Kolbenpumpen zeigen.

Einstufige Kolbenpumpen

Die in Fig. 1 schematisch dargestellte Pumpe besitzt einen von einem elektromechanischen Aktor P angetriebenen Förderkolben DK, der die sich im oberen Teil stufig verjüngende Zylinderbohrung ZY des Gehäuses VG in zwei Kammern K1/K2 unterteilt. In die den Aktor P aufnehmende untere Kammer K1 mündet die als Pumpeneinlaß dienende konische Bohrung DE, deren Strömungswiderstand von der Fließrichtung des zu fördernden Mediums abhängt. In Pfeilrichtung durchströmt wirkt die Bohrung DE als Diffusor (kleiner Strömungswiderstand), entgegen der Pfeilrichtung durchströmt hingegen als Düse, welche dem Medium einen vergleichsweise großen Strömungswiderstand bietet. Bei konstanter Druckdifferenz weist die Bohrung DE daher in Pfeilrichtung einen größeren Durchfluß auf (Diffusorbetrieb) als in Gegenrichtung (Betrieb als Düse). Auch in die obere Kammer K2 mündet eine als Pumpeneinlaß dienende konische Bohrung DA. Da sich deren Querschnitt nach außen hin erweitert, wirkt sie auf das aus der Kammer K2 strömende Medium als Diffusor, in umgekehrter Richtung durchströmt hingegen als Düse, welche den Eintritt des Mediums in das Gehäuse VG aufgrund des großen Strömungswiderstands erschwert.

Der am Gehäuseboden aufsitzende elektromechanische Aktor P der Länge L wird über die in einer abgedichteten Bohrung ED ins Gehäuseinnere geführten Anschlußleitungen E mit den erforderlichen Betriebsspannungen versorgt. Als Aktor P kommt insbesondere ein piezoelektrischer Multilayerstack in Betracht, der auch bei moderaten Betriebsspannungen noch eine vergleichsweise große Längenänderung von typischerweise $\Delta L \approx 10^3 \cdot L$ (L = Aktorlänge) erfährt. Die Ansprechzeit dieses Aktors P liegt um eine bis zwei Größenordnungen unter der Ansprechzeit vergleichbarer elektromagnetischer Antriebe, was in Verbindung mit einem kompakten Aufbau der Pumpe und kleinen be-

wegen Massen hohe Betätigungsfrequenzen im Bereich von $f > 1$ kHz ermöglicht.

Die transiente Arbeitsweise des Piezoaktors P macht es erforderlich, ihn mechanisch vorzuspannen. Die dazu notwendige Kraft erzeugt die in der oberen Kammer K2 zwischen einer Stufe der Gehäusebohrung ZY und dem topfförmigen Ansatz des Förderkolbens DK eingespante Tellerfeder TF. Sie hat außerdem die Aufgabe, den sich am Gehäuseboden abstützenden Aktor P zu fixieren, den Förderkolben DK zentriert auf dem Aktor P zu halten und die Rückstellung des Förderkolbens DK in seine Ruhelage zu unterstützen. Die in der Tellerfeder TF vorhandenen Bohrungen BO stellen die strömungstechnische Verbindung zwischen den in der oberen Kammer K2 vorhandenen Teilvolumina her. Eine entsprechende Funktion haben die mit SK bezeichneten Vertiefungen bzw. Kanäle in der auslaßseitigen Fläche des Förderkolbens DK.

Der kragenförmige Rand des Förderkolbens DK bildet im Zusammenwirken mit der zylindrischen Gehäusebohrung ZY einen ringförmigen Spalt D1, dessen Breite sich in Richtung Auslaß DA kontinuierlich erweitert. Form und Geometrie dieses als Diffusor/Düse-Element wirkenden Ringspaltes D1 kann man durch eine geeignete Gestaltung des kragenförmigen Kolbenrandes, insbesondere seiner Oberfläche (treppen- oder schuppenförmige Struktur) und/oder der Gehäusewand in einfacher Weise dem jeweils zu fördernden Medium und den Förderbedingungen anpassen. Alle Diffusor/Düse-Elemente D1/DE/DA der Pumpe sind hinsichtlich ihrer strömungsmechanischen Eigenschaften hierbei immer so aufeinander abgestimmt, daß das aus der unteren Kammer K1 verdrängte Medium bevorzugt in die obere Kammer K2 strömt.

Um den Pumpvorgang einzuleiten, wird der Aktor P angesteuert und dadurch in axialer Richtung elongiert. Die Längenänderung ΔL des Aktors P bewirkt eine entsprechende Verschiebung des in der zylindrischen Gehäusebohrung ZY geführten Förderkolbens DK entgegen der von der Tellerfeder TF ausgeübten Kraft nach oben, so daß sich das Volumen der Kammer K2 um $\Delta V_2 = -\Delta L \cdot AD$ ($AD =$ Fläche des Förderkolbens DK) verkleinert und das Volumen der unteren Kammer K1 um $\Delta V_1 = \Delta L \cdot AD$ vergrößert, sofern der Aktor P sein Volumen bei einer Elongation/Kontraktion nicht ändert. In Folge der dadurch in den Kammern K1/K2 erzeugten Druckdifferenz ($\Delta p = p_2 - p_1 > 0$) wird das Medium aus der oberen Kammer K2 verdrängt und gleichzeitig in die untere Kammer K1 eingesaugt, wobei der als Düse wirkende Ringspalt D1 das Überströmen des Mediums von der oberen in die untere Kammer behindert. Bezeichnet man die durch die jeweils als Diffusor wirkenden Bohrungen DE, DA transportierten Volumina mit V_{DE} bzw. V_{DA} und das über den Ringspalt D1 ausgetauschte Volumen mit V_{1-2} so gilt:

$$\Delta V_2 = -(V_{DA} + V_{1-2});$$

und

$$\Delta V_1 = V_{DE} + V_{1-2};$$

Beendet wird der Arbeitszyklus durch die Entladung des Piezoaktors P. In Folge der damit einhergehenden Kontraktion des Aktors P bewegt sich der Förderkolben DK unter dem Zwang der von der Tellerfeder TF ausgeübten Rückstellkraft wieder in seine Ausgangslage nach unten. Die Druckverhältnisse in den beiden Kammern

K1/K2 kehren sich in dieser Phase um ($p_1 > p_2$), wobei das aus der Kammer K1 verdrängte Medium bevorzugt über den als Diffusor wirkenden Ringspalt D1 in die obere Kammer K2 strömt. Bezeichnet man die über die nun jeweils als Düse wirkenden Bohrungen DA und DE sowie den Ringspalt D1 ausgetauschten Volumina wieder mit V_{DA} , V_{DE} bzw. V_{1-2} , so gilt nun:

$$\Delta V_2 = V_{DA} + V_{1-2};$$

und

$$\Delta V_1 = -(V_{DE} + V_{1-2}).$$

Die wiederholte Elongation/Kontraktion des Aktors P führt somit zu einer Förderung des Mediums vom Einlaß DE zum Auslaß DA. Die Pumpleistung kann man hierbei in einfacher Weise durch eine geeignete Ansteuerung des Aktors P, insbesondere über das Ein-/Austastverhältnis, über die Frequenz und/oder die Amplitude des dem Aktor P zugeführten Signals beeinflussen. Steuert man den Aktor P der Länge $L = 20$ mm beispielsweise mit einem Signal der Frequenz $f = 1,8$ kHz und der Amplitude $V_0 = 50$ Volt an, so fördert die mit einem Kolben DK des Durchmessers $\varnothing = 20$ mm ausgestattete Pumpe etwa 100 ml H_2O pro Minute. Hierbei ist vorausgesetzt, daß der kleinste Durchmesser der konischen Bohrungen DA/DE im Bereich von etwa 0,1–0,5 mm, ihr halber Öffnungswinkel im Bereich von $\alpha 8^\circ$ liegt. Der von der Pumpe erzeugte Maximaldruck beträgt dann etwa $p_{\max} 3$ bar.

Die oben angestellten volumetrischen Betrachtungen beruhen auf der Annahme, daß der Aktor P sein Volumen trotz einer Elongation/Kontraktion nicht oder nur unwesentlich ändert. Ein derartiges Verhalten zeigen insbesondere piezoelektrische, elektrostriktive und magnetostruktive Aktoren. Selbstverständlich können auch Aktoren ohne diese Eigenschaft als Pumpenantrieb verwendet werden, sofern man deren Volumenänderung während des Arbeitszyklus bei der Dimensionierung und Ausgestaltung der Diffusor/Düse-Elemente DE/DA/D1 berücksichtigt.

Die in Fig. 2 dargestellte Pumpe besitzt einen gedichtet in das Gehäuse VG eingebauten Förderkolben DK. Da der ringförmige bzw. aus mehreren Segmenten bestehende Aktor P den Förderkolben DK nur unwesentlich in der Gehäusebohrung ZY verschiebt, sind die als Dichtelemente in Frage kommenden O-Ringe OR oder Membranen keinem großen Verschleiß unterworfen. Die zentrale Kolbenbohrung D mit ihrem zylindrischen unteren und dem sich in Richtung Auslaß DA erweiternden oberen Abschnitt wirkt in Pfeilrichtung durchströmt als Diffusor, in umgekehrter Richtung durchströmt hingegen als Düse. Sie begünstigt daher das Überströmen des Mediums von der unteren Kammer K1 in die obere Kammer K2 bzw. behindert den Massentransport in umgekehrter Richtung. Für die Anbindung der zwischen dem Gehäuse VG und dem Aktor P eingeschlossenen Volumina an die obere Kammer K2 sorgen die in den zylindrischen Feil der Kolbenbohrung D mündenden Kanäle SK. Als Pumpeneinlaß bzw. Pumpenauslaß dienen wieder zwei konische Bohrungen DE/DA deren Querschnitt sich jeweils in Pfeilrichtung erweitert.

Eine im wesentlichen zylindrische Förderkolbenbohrung D verbindet die beiden Kammern K1/K2 der in Fig. 3 gezeigten Kolbenpumpe, wobei ein aus einem kugelförmigen Dichtelement RV und einer Spiralfeder FS bestehendes Rückschlagventil den Durchfluß des Mediums steuert. Die Steifigkeit der Feder SF und die

strömungsmechanischen Eigenschaften der als Ein- bzw. Auslaß dienenden Bohrungen DE/DA sind so aufeinander abgestimmt, daß das Medium bei einer Elongation des Aktors P bevorzugt in die untere Kammer K2 strömt und das Ventil RV/SF die Bohrung D in der sich anschließenden Förderphase abdichtet.

Mehrstufige Kolbenpumpen

Pumpen mit einer größeren Förderleistung lassen sich durch Kaskadierung mehrerer der in Abschnitt 5 beschriebenen Pumpstufen (Aktor P—Förderkolben DK) realisieren. So besitzt die in Fig. 4 dargestellte Pumpe zwei Aktoren P1/P2 der Länge $L_1 = L_2 = L$ und eine entsprechende Anzahl flächengleicher Förderkolben DK1/DK1 ($AD_1 = AD_2 = AD$), die das Ventilgehäuse VG in drei Kammern K1—K3 unterteilen. Den Fußpunkt für die gestapelten Aktoren P1/P2 bildet der Gehäuseboden VGB der unteren Kammer K3. Für die mechanische Vorspannung der Aktoren P1/P2 sorgt die in der oberen Kammer K1 auf dem topfförmigen Ansatz des Förderkolbens DK1 aufliegende Tellerfeder TF. Da sich die Längenänderungen $\Delta L_1, \Delta L_2$ der beiden Aktoren P1/P2 lagerungsbedingt addieren, wird der dem Einlaß DE zugeordnete Förderkolben DK1 bei einer gleichphasigen Ansteuerung der Aktoren P1/P2 um $\Delta L = \Delta L_1 + \Delta L_2$ nach oben verschoben, das Volumen der Kammer K1 folglich um $\Delta V_1 = (\Delta L_1 + \Delta L_2) \cdot AD$ verkleinert. Die Volumina der beiden anderen Kammern K2/K3 ändern sich um $\Delta V_2 = \Delta L_1 \cdot AD$ bzw. $\Delta V_3 = \Delta L_2 \cdot AD$, wobei $-\Delta V_1 = \Delta V_2 + \Delta V_3$ mit $\Delta V_2 = \Delta V_3$ gilt. Aufgrund der Ausgestaltung und Orientierung der beiden Diffusor-/Düse-Elemente D1/D2 (Ringspalte) strömt das zu fördernde Medium somit von der Kammer K1 über die mittlere Kammer K2 in die Kammer K3. Während der anschließenden Kontraktionsphase der Aktoren P1/P2 wird das Medium bevorzugt durch die als Düse wirkende Bohrung DA ausgeschoben und gleichzeitig neues Medium über die als Einlaß dienende Bohrung DE in die Kammer K1 angesaugt. Durch periodisches Wiederholen dieses Zyklus erzielt man damit wieder eine Pumpwirkung.

In entsprechender Weise arbeitet die in Fig. 5 dargestellte Kolbenpumpe. Sie ist mit N Piezoaktoren P1 ... PN der Länge $L_1 = L_2 = \dots L_N = L$ und N Förderkolben DK1 ... DKN der Fläche $AD_1 = AD_2 = \dots = AD_N = AD$ ausgestattet, wobei die Förderkolben DK1 ... DKN das mit konischen Ein- und Auslaßbohrungen DE/DA versehene Gehäuse VG in (N+1) Pumpkammern K1 ... K(N+1) unterteilen.

Die zweistufige Kolbenpumpe gemäß Fig. 6 unterscheidet sich von der in Fig. 4 dargestellten Pumpe in der Orientierung der Diffusor/Düse-Elemente DE/DA/D1/D2. Außerdem liegt der Fußpunkt des Aktorstapels auf dem Gehäuseboden VGB der Ansaugkammer K1, so daß die Auslaßkammer K3 während des Betriebes die größte Volumenänderung erfährt. Im einfachsten Fall der phasengleichen Kontraktion der Aktoren P1/P2 strömt das zu fördernde Medium aus der Kammer K1 über den als Diffusor wirkenden Ringspalt D1 in die Kammer K2 und von dort über den Ringspalt D2 in die Kammer K3. Bei der nachfolgenden Expansion der Aktoren P1/P2 wird ein Teil des in der Kammer K3 vorhandenen Mediums vom Förderkolben DK2 durch die konische Bohrung DA ausgeschoben. Gleichzeitig strömt neues Medium über den Einlaß DE in die Kammer K1 bzw. über den Ringspalt D1 in die Kammer K2 und füllt diese jeweils wieder auf. Wiederholtes Durch-

laufen dieses Arbeitszyklus führt so zu einem Massenstrom von Pumpeneinlaß DE zum Pumpenauslaß DA.

Bei den bisher beschriebenen Kolbenpumpen sitzen der Aktor oder der Aktorstapel am Gehäuseboden VGB auf. Dies hat zur Folge, daß der Hub des mit der Tellerfeder TF belasteten Förderkolbens dem kumulierten Hub der einzelnen Aktoren P_i entspricht und sich das Volumen der zugeordneten endseitigen Kammern während des Arbeitszyklus um

$$\Delta V = AD \cdot \sum_{i=1}^N \Delta L_i$$

ändern.

Mit $\Delta V_i = AD \cdot (\Delta L_i - \Delta L_j)(\Delta L_{ij})$ (Längenänderung der Aktoren P_i, P_j , welche die die Kammer K_i begrenzenden Förderkolben DK_i bzw. DK_j antreiben) fallen die Volumenänderung der anderen Kammern demgegenüber kleiner aus. Dies läßt sich durch die in den Fig. 7 und 8 gezeigte beidseitige Lagerung des Aktors P bzw. Aktorstapels auf Tellerfedern TF vermeiden. Längenänderung der Aktoren P_i führen dann in den ein- und auslaßseitigen Kammern zu den gleichen Druck- und Volumenänderungen. Eingespannt sind die als Lager dienenden Tellerfedern TF zwischen topfförmigen Ansätzen der endseitigen Förderkolben DK_1 und DK_2 bzw. DK_3 und dem Gehäuseboden bzw. einer Stufe der zylindrischen Gehäusebohrung ZY. Die in den Kolbenansätzen und den Tellerfedern TF vorhandenen Bohrungen BO stellen die strömungstechnische Verbindung zwischen den in den Kammern vorhandenen Teilvolumina her.

Um das gasförmige oder flüssige Medium vom Pumpeneinlaß DE zum Pumpenauslaß DA zu fördern, wird der in Fig. 7 mit P bezeichnete Aktor in einer ersten Phase kontrahiert. Aufgrund der Geometrie und Orientierung der beiden Ringspalte D1/D2 strömt dann das aus der Kammer K2 verdrängte Medium bevorzugt in die obere Kammer K3. Gleichzeitig füllt sich die untere Kammer K1 über den als Diffusor wirkenden Pumpeneinlaß DE wieder auf (Ansaugen). Bei der anschließenden Bestromung des Aktors P wird der Förderkolben DK2 nach oben bewegt, das Volumen der Kammer K3 dadurch verkleinert und das Medium bevorzugt über die Bohrung DA ausgeschoben. Die mit der Elongation des Aktors P einhergehende Verschiebung des Förderkolbens DK1 nach unten hat eine Verkleinerung des Volumens der Kammer K1 zur Folge, wobei das verdrängte Medium über den Ringspalt D1 in die Kammer K2 strömt und diese auffüllt. Durch periodische Wiederholung dieser Vorgänge läßt sich so wieder eine Pumpwirkung erzielen.

Insbesondere mehrstufige Kolbenpumpen lassen sich auf sehr verschiedene Art und Weise betreiben. So kann man beispielsweise die Aktoren P_i phasengleich, gegenphasig, phasenverschoben oder peristaltisch ansteuern und die Tastverhältnisse, Frequenzen und Spannungen sowie die Pulsfolgen und Pulsformen der jeweiligen Ansteuersignale unterschiedlich vorgeben. Die einzelnen Maßnahmen können selbstverständlich auch kombiniert werden. Anwendbar ist jede Betriebsweise, die das zu fördernde Medium im Bereich der einzelnen Diffusor-/Düseelemente DE/DA/Di ($i = 1 \dots N$) in eine oszillatorische Bewegung versetzt. Einen besonders gleichmäßigen Förderdruck und Förderstrom erzeugen peristaltisch betriebene Pumpen mit mehreren Förderstu-

fen. Aufeinanderfolgende Förderstufen werden hierbei sequentiell, alternierend oder mit einer geeigneten Phasenverschiebung von beispielsweise $\varphi = (2 \pi / N)$ (N: Anzahl der Aktoren P_i) angesteuert.

Auf die Eigenschaften der Pumpen kann man darüberhinaus auch durch die Gestaltung, Dimensionierung und Orientierung der Förderkolben DK_i , der Diffusor/Düse-Elemente $DE/DA/D_i$ und der Aktoren P_i Einfluß nehmen. So ist es beispielsweise möglich, die Flächen AD_i der Förderkolben DK_i und/oder die Aktorlängen L_i unterschiedlich groß zu wählen. Die Fig. 9 bis 11 zeigen Ausführungsbeispiele entsprechender Kolbenpumpen. Durch alle diese Maßnahmen lassen sich die Eigenschaften der einzelnen Förderstufen aufeinander abstimmen und den jeweiligen Gegebenheiten anpassen. Dies ist insbesondere bei der sukzessiven Verdichtung eines Gases in einer mehrstufigen Pumpe von Vorteil, da hier die Gasdichte in jeder Stufe zunimmt.

Ausgestaltungen und Weiterbildungen der Kolbenpumpen

Die Erfindung beschränkt sich selbstverständlich nicht auf die oben beschriebenen Ausführungsbeispiele. So ist es ohne weiteres möglich

- jeweils mehrere Ein- und Auslässe DA/DE im Gehäuse VG vorzusehen,
- die Oberfläche der Ein- und Auslässe DA/DE stufung auszuführen oder in anderer Weise zu strukturieren,
- die Gehäusewand im Bereich des Kolbenrandes als Diffusor/Düse auszubilden,
- die Diffusor/Düse-Elemente DA, DE durch andere Bauelemente mit einem von der Strömungsrichtung abhängigen Strömungswiderstand zu ersetzen und diese ggf. in die dem Einlaß bzw. Auslaß DA/DE zugeordneten Anschlüsse bzw. Anschlußleitungen zu integrieren und
- anstelle der Tellerfedern TF andere Federelemente, insbesondere Spiraldruckfedern, zu verwenden.

Literatur

- [1] Sensors and Actuators, 15 (1988); S. 153—167
- [2] Sensors and Actuators, A21—A23 (1990); S. 189—192
- [3] Sensors and Actuators, A21—A23 (1990); S. 203—206
- [4] Sensors and Actuators, A39 (1993); S. 159—167
- [5] Sensors and Actuators, A46—47 (1995); S. 549—556
- [6] DE 42 23 019 C1.

Patentansprüche

1. Vorrichtung zur Förderung gasförmiger oder flüssiger Medien, welche die folgenden Merkmale aufweist:

- a) In die Kammer (ZY) eines Gehäuses (VG) münden mindestens ein Einlaß (DE) und mindestens ein Auslaß (DA) für das Medium;
- b) Ein- und Auslaß (DE, DA) oder die dem Ein- und Auslaß zugeordneten Anschlüsse sind jeweils derart ausgebildet, daß sie dem in die Kammer (ZY) bzw. dem aus der Kammer (ZY) strömenden Medium einen kleineren Strömungswiderstand bieten als dem jeweils in

entgegengesetzter Richtung strömenden Medium;

- c) In der Kammer (ZY) sind eine Anzahl $N:1, 2, \dots, n$ Aktoren (P_i) angeordnet, deren axiale Länge (L_i) sich jeweils steuerbar ändern läßt;
- d) Die Aktoren (P_i) wirken jeweils auf mindestens ein in Richtung einer Kammerachse verschiebbares Förderelement (DK_i), wobei die Förderelemente (DK_i) die Kammer (ZY) in $N + 1$ strömungstechnisch miteinander verbundene Teilkammern (K_j) unterteilen;
- e) Die strömungstechnische Verbindung benachbarter Teilkammern (T_i, T_j) ist jeweils derart ausgebildet, daß sie dem in Richtung Auslaß (DA) strömendem Medium einen kleineren Strömungswiderstand bietet als dem in entgegengesetzter Richtung strömendem Medium.

2. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Teilkammern (K_i) jeweils durch einen Strömungskanal und/oder Spalt (DE) miteinander verbunden sind, wobei der Strömungskanal bzw. Spalt (DE) zumindest einen Abschnitt aufweist, dessen Querschnitt sich auslaßseitig (DA) erweitert.

3. Vorrichtung nach Anspruch 2, gekennzeichnet durch einen vom jeweiligen Förderelement (DK_i) und der Kammerwand gebildeten ringförmigen Spalt (DE).

4. Vorrichtung nach Anspruch 1 oder 2, gekennzeichnet durch einen in einem zylindrischen Abschnitt der Kammer (ZY) geführten Kolben (DK_i) als Förderelement, wobei der Kolben (DK_i) und/oder der dem Kolben (DK_i) benachbarte Bereich der Kammerwand derart strukturiert sind, daß der vom Kolben (DK_i) und der Kammerwand gebildete Spalt (DE) beim Durchströmen in Richtung Auslaß (DA) als Diffusor, beim Durchströmen in umgekehrter Richtung als Düse wirkt.

5. Vorrichtung nach Anspruch 3 oder 4, dadurch gekennzeichnet, daß die Kolben (DK_i) im Bereich der Kammerwand jeweils eine sich in Richtung Einlaß erstreckende, kragenförmige Struktur aufweisen.

6. Vorrichtung nach Anspruch 1 oder 2, gekennzeichnet durch einen gedichtet in die Kammer (ZY) eingebauten Kolben (DK) als Förderelement, wobei der Kolben (DK) eine Bohrung (D) als Strömungskanal aufweist.

7. Vorrichtung nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß in der Bohrung (D) ein auf ein Federelement (SF) wirkendes Dichtelement (RV) angeordnet ist.

8. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß die Aktoren (P_i) und die Förderelemente (DK_i) in Richtung der Kammerlängsachse stapelförmig übereinander angeordnet sind.

9. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, daß sich zumindest einer der Aktoren (P_i) auf dem ein- oder auslaßseitigen Kammerboden (VGB) abstützt.

10. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, daß die Aktoren (P_i) jeweils zwischen zwei Förderelementen (DK_i) angeordnet sind.

11. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 10, dadurch gekennzeichnet, daß die Kammer (ZY) ei-

ne Anzahl $N + 1$ Abschnitte mit jeweils unterschiedlicher Querschnittsfläche aufweist und daß in jedem der Abschnitte ein Förderelement (DKi) mit entsprechend bemessenen aktorseitigen Flächen angeordnet ist.

5

12. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 11, dadurch gekennzeichnet, daß die Aktoren (P_i) jeweils unterschiedliche Längen (L_i) und/oder die Förderelemente (DKi) jeweils verschieden große aktorseitige Flächen (AD_i) aufweisen.

10

13. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 12, dadurch gekennzeichnet, daß das einlaßseitige und/oder das auslaßseitige Förderelement (DKi) mit einem Federlement (SF) belastet sind.

14. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 13, gekennzeichnet durch einen piezoelektrischen, elektrostriktiven, magnetostriktiven oder elektromagnetischen Aktor (P).

15

15. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 14, dadurch gekennzeichnet, daß der Aktor (P_i) aus mehreren Elementen besteht, er ringförmig ist oder er eine Mittelbohrung aufweist.

20

Hierzu 11 Seite(n) Zeichnungen

25

30

35

40

45

50

55

60

65

- Leerseite -

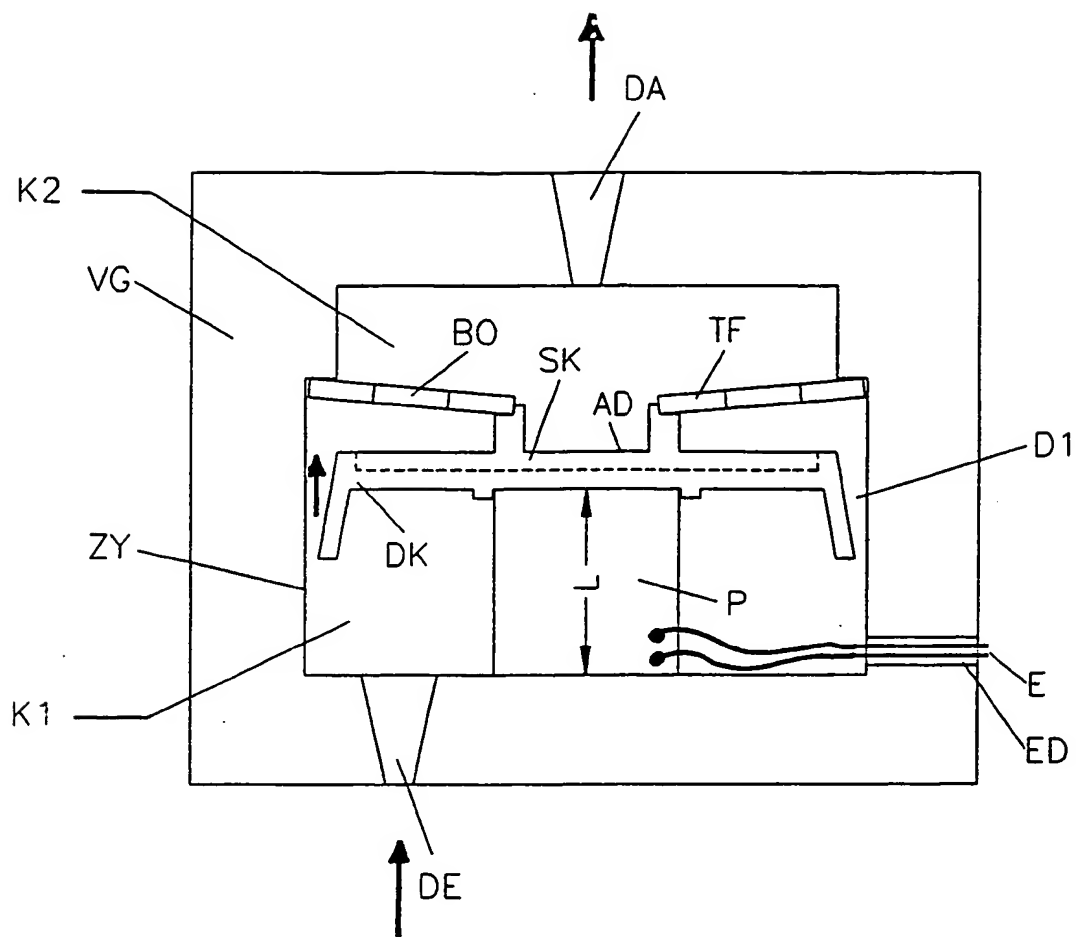


Fig. 1

*

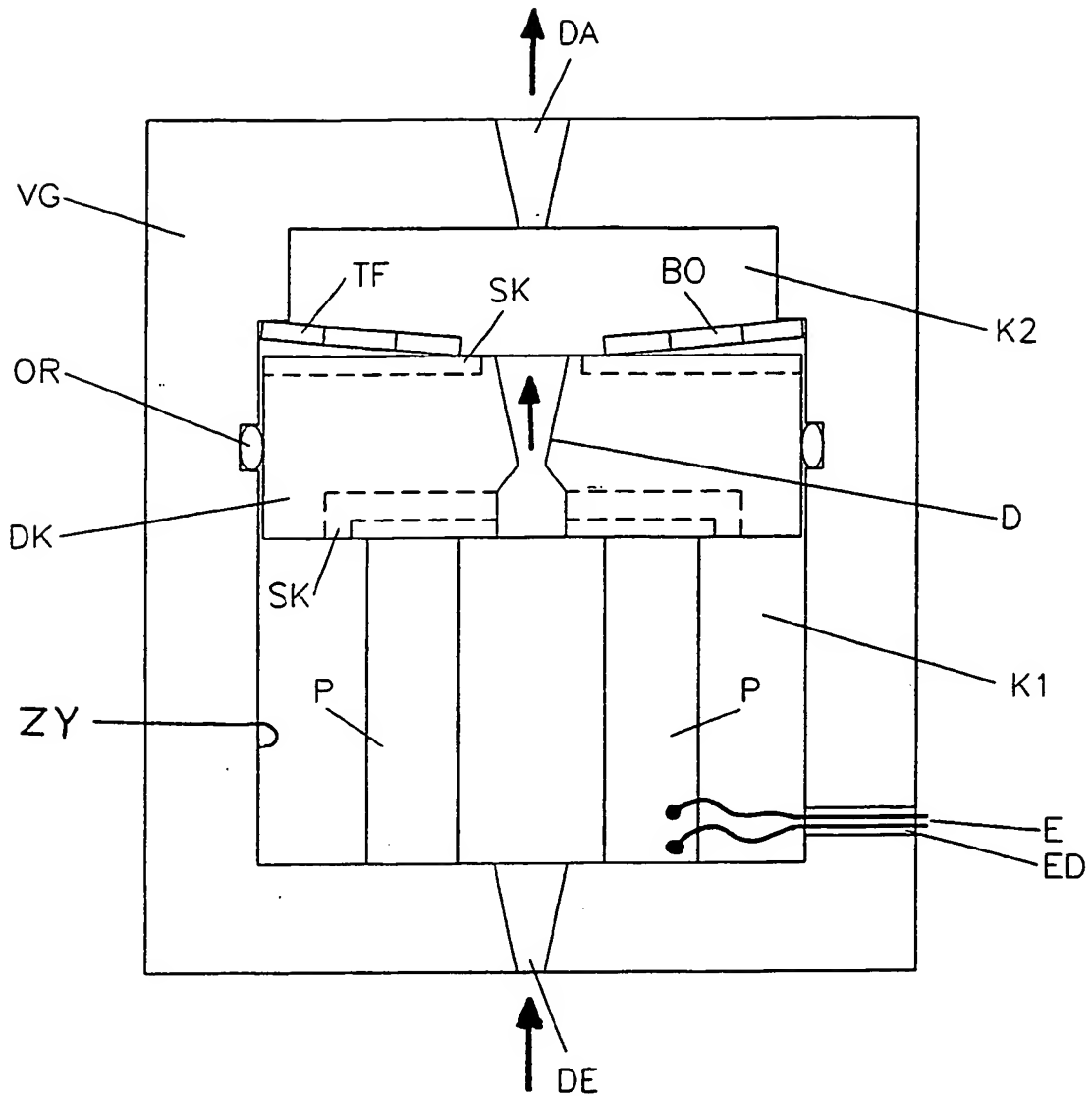


Fig.2

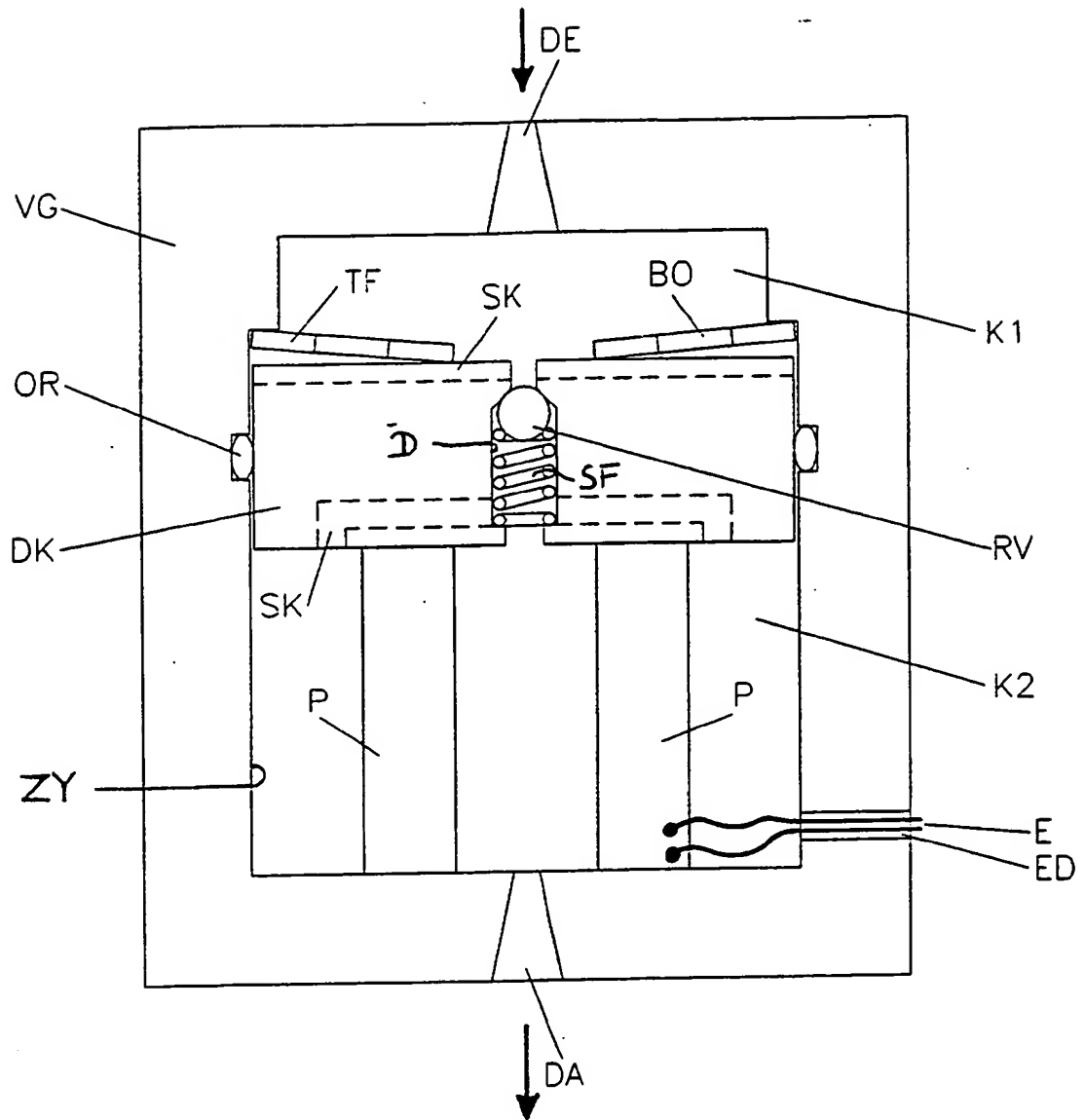


Fig. 3

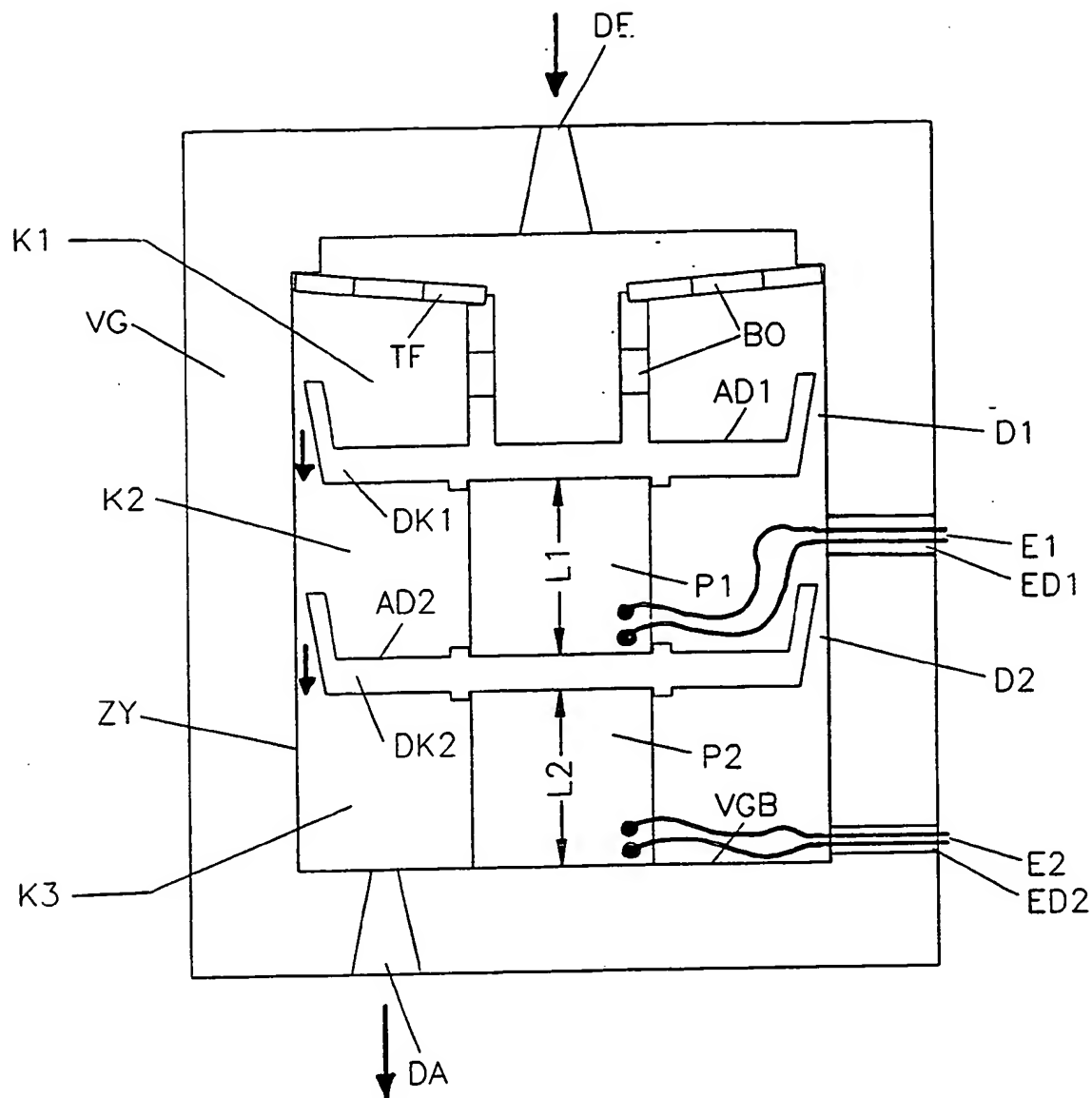


Fig. 4

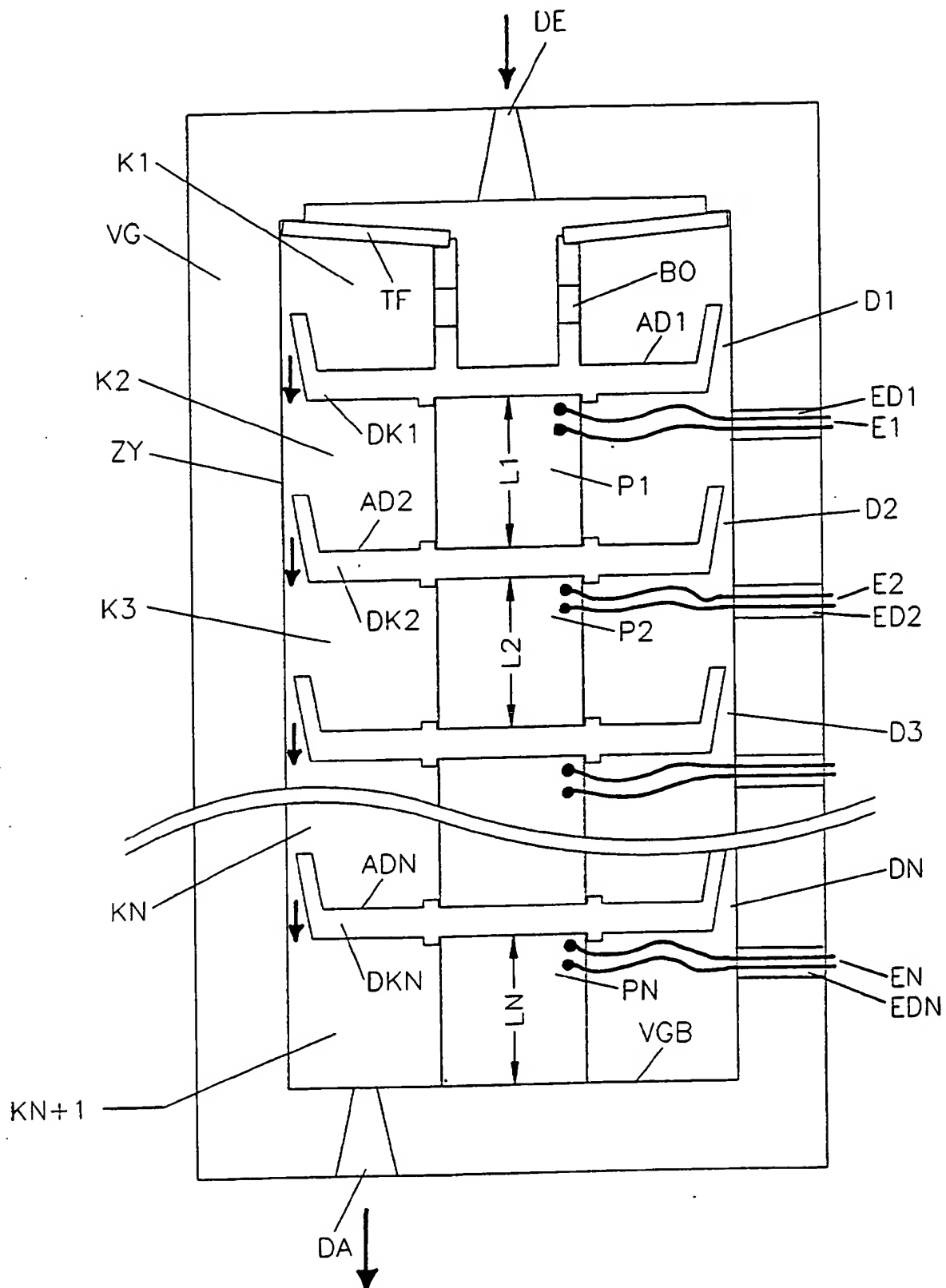


Fig. 5

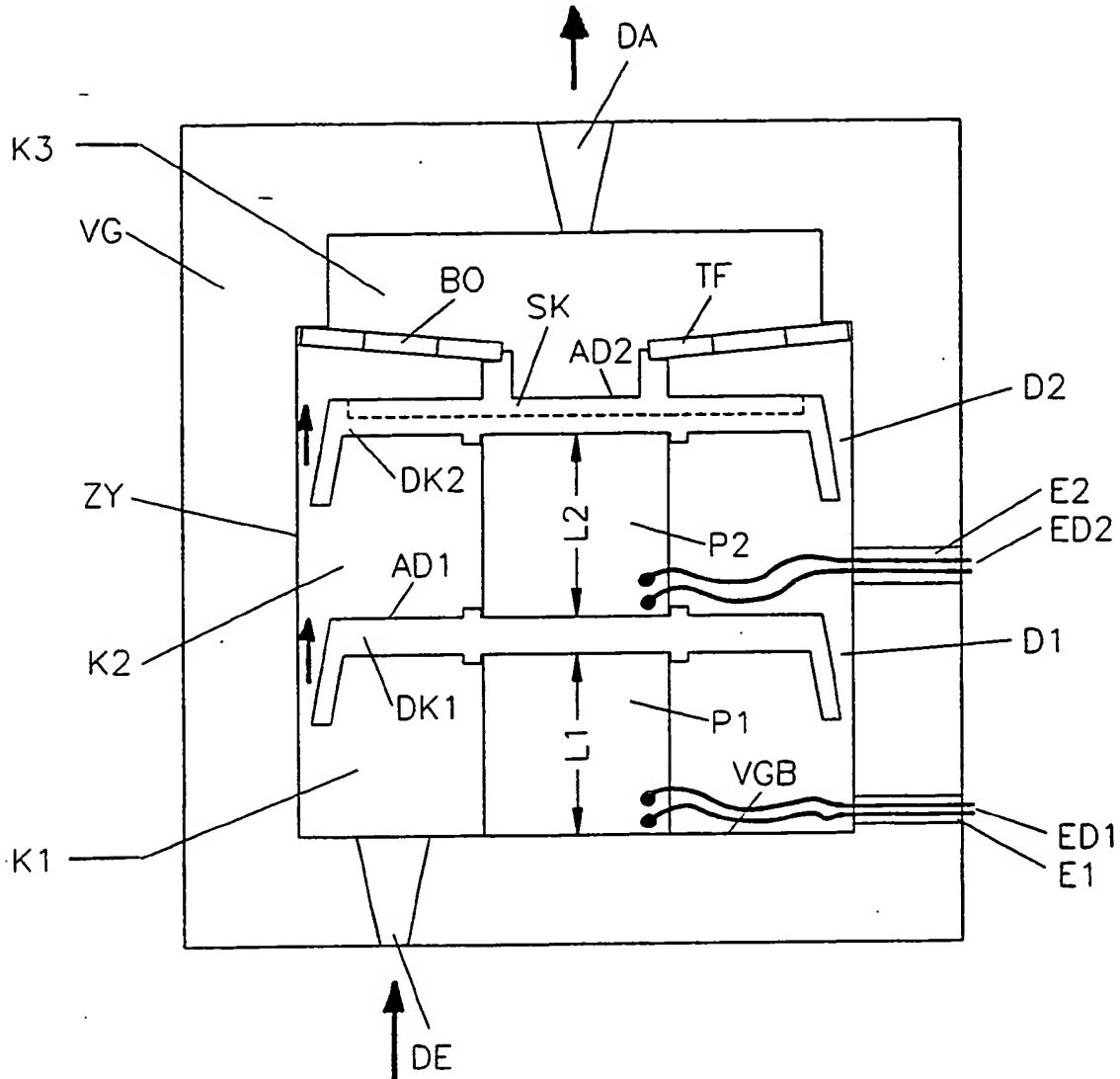


Fig. 6

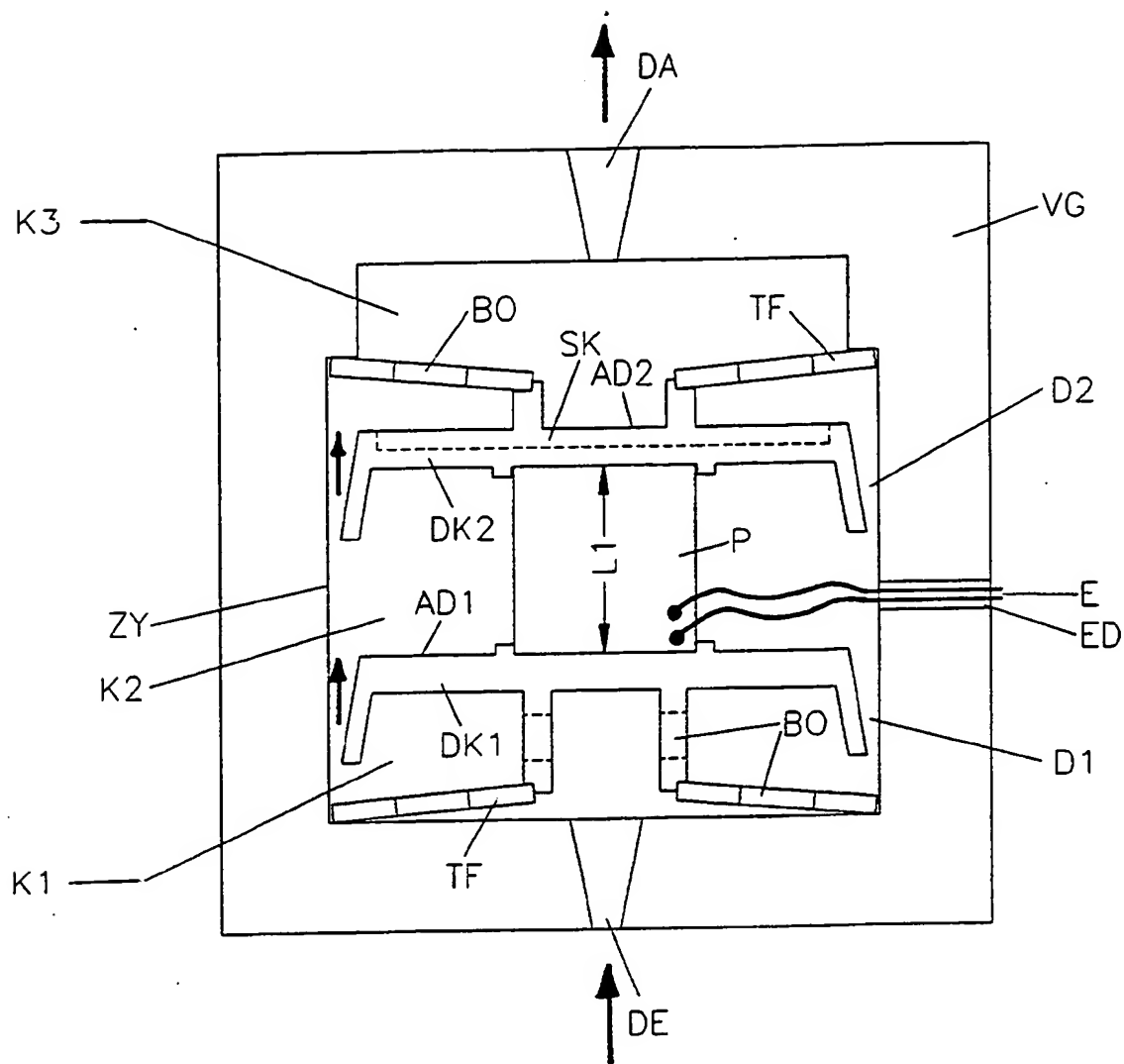


Fig. 7

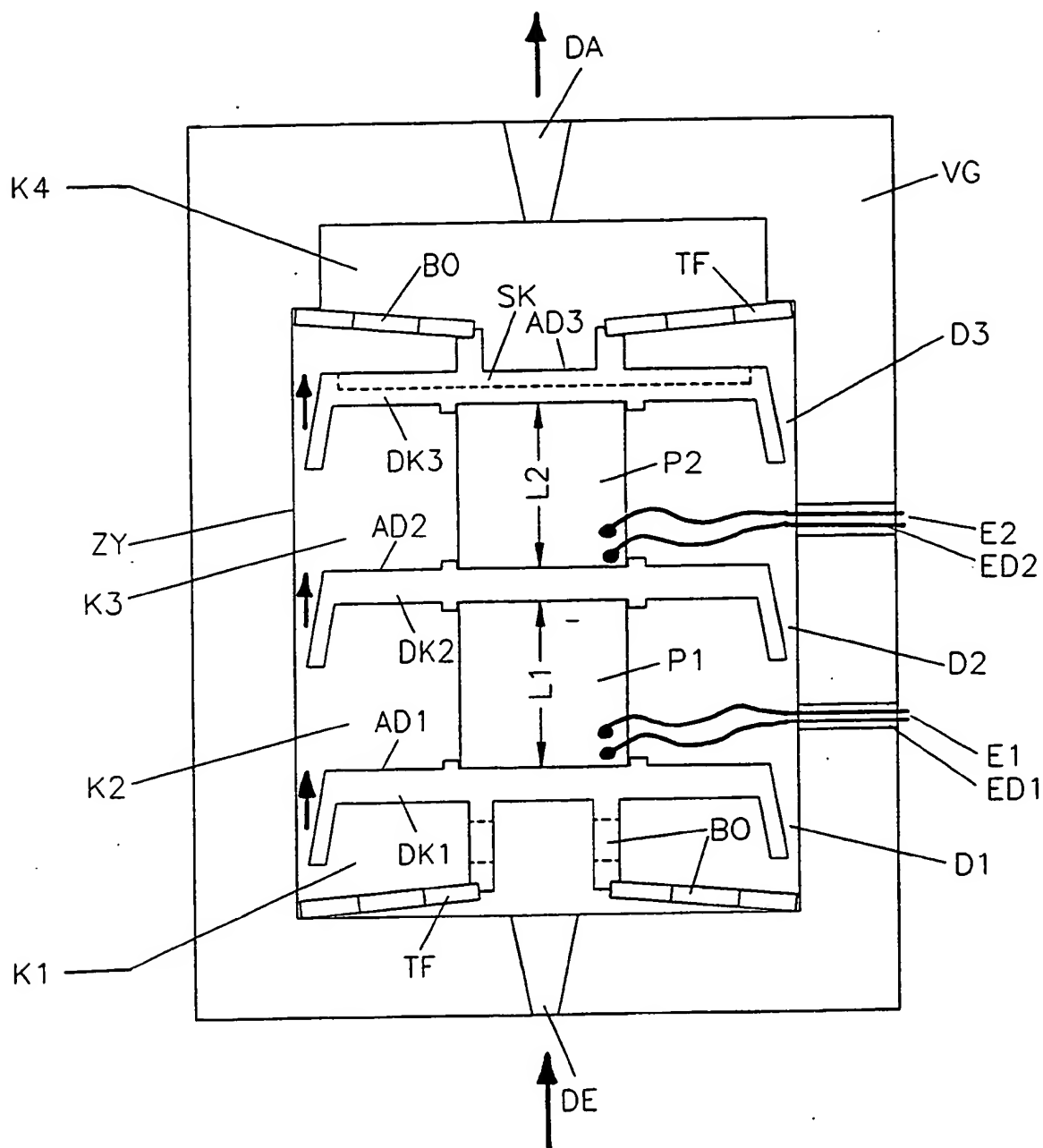


Fig. 8

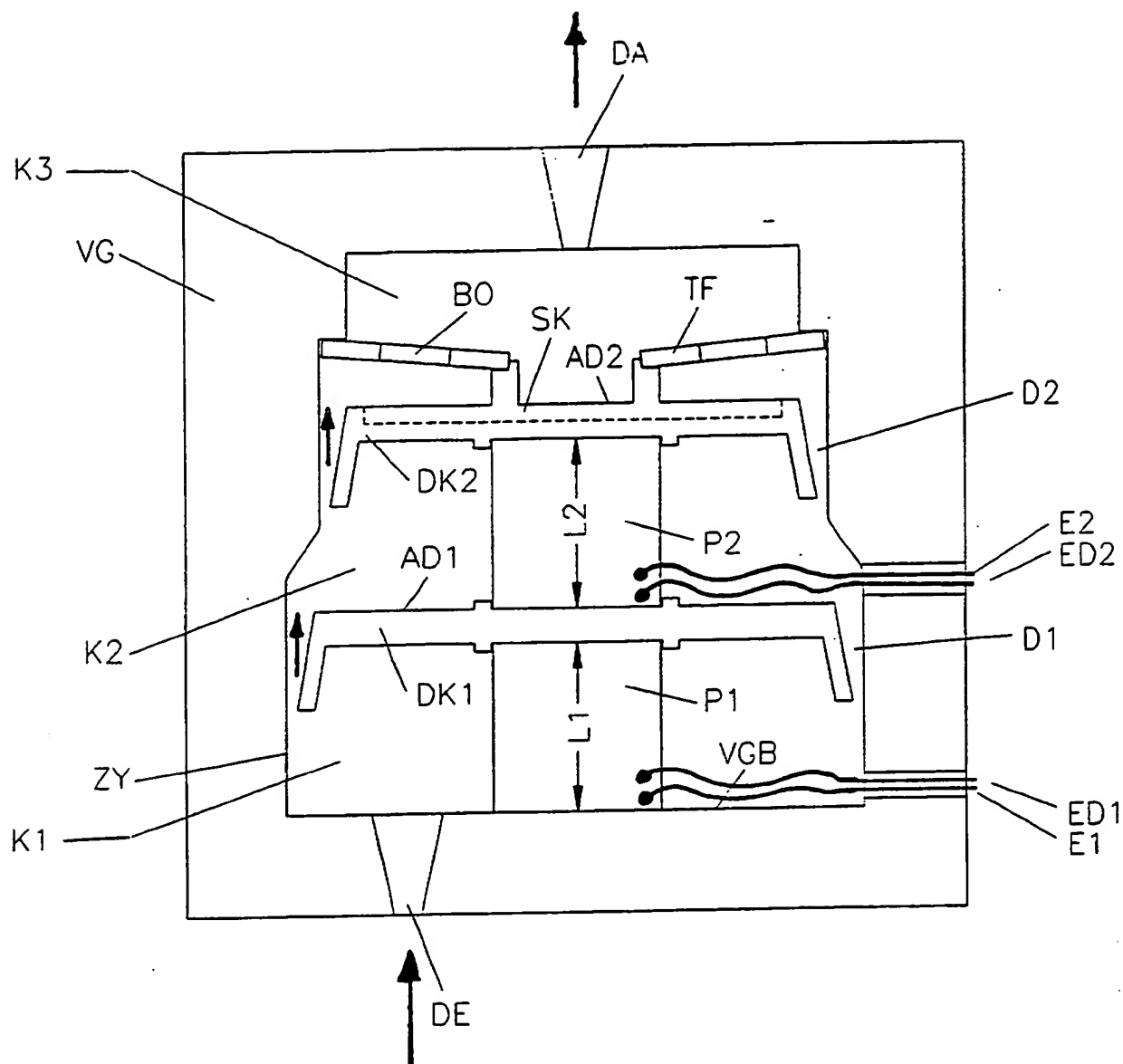


Fig. 9

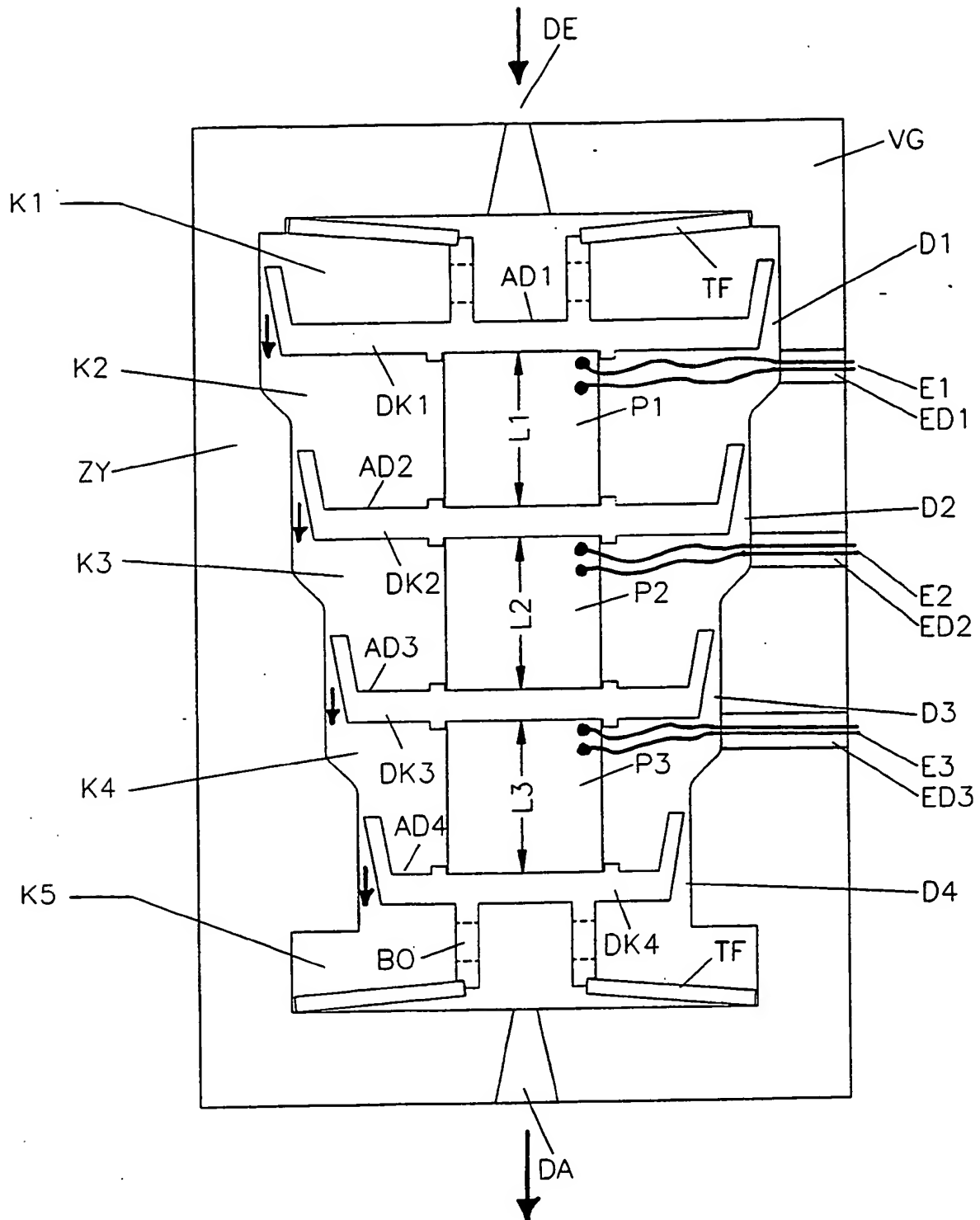


Fig. 10

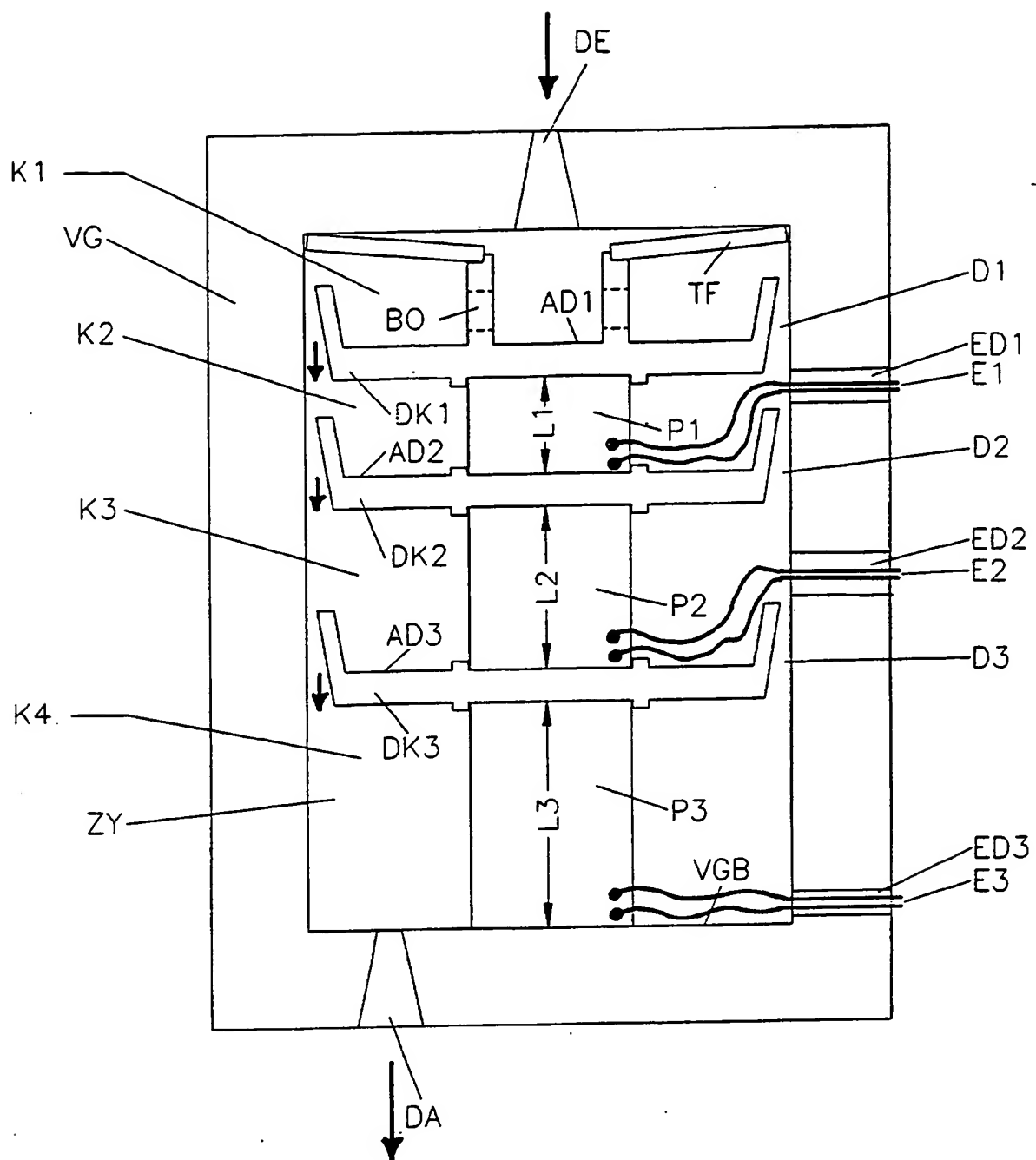


Fig.11